

深層学習を用いたリアルタイム太陽フレア確率予報 Deep Flare Net (DeFN)

Real-time Solar Flare Probability Forecast Using Deep Neural Network: Deep Flare Net (DeFN)

*西塚 直人¹、杉浦 孔明¹、久保 勇樹¹、田 光江¹、石井 守¹

*Naoto Nishizuka¹, Komei Sugiura¹, Yuki Kubo¹, Mitsue Den¹, Mamoru Ishii¹

1. 国立研究開発法人 情報通信研究機構

1. National Institute of Information and Communications Technology

太陽フレアは太陽系最大の爆発現象である。X線や紫外線、高エネルギー粒子や磁気嵐によって地球に影響を及ぼし、衛星の故障や広域停電の原因になることがある。そのため、これらを防ぐための太陽フレアの予報は重要である。太陽フレアの発生機構はまだ十分に解明されていない。エネルギーの蓄積やフレアのトリガーは、光球への浮上磁場によるものだと考えられている。太陽ダイナモから黒点形成、そしてフレア噴出といった一連の物理過程は観測および理論によって研究されてきた。特に近年は大量の準リアルタイムの観測データが利用できるようになってきた。しかし、まだ我々は24時間以内に発生するフレアの予測さえ難しい状況にある。

我々は深層学習を用いた太陽フレア予測モデルを開発し、Deep Flare Net (DeFN)と名付けた。このモデルは24時間以内に発生する最大規模のフレアの確率を予測することができる。SDO衛星によって2010-2015年に観測された約30万枚の画像を用いて、まず活動領域を検出し、次に各領域の79種類の特徴量を計算してフレアのラベル(X, M, C)を添付した。特徴量としては、先行研究Nishizuka et al.(2017)で使用した特徴量の他、運用的な予測用に新たな特徴量、131 Åで観測される高温コロナの発光(1千万度)や、同じく131 ÅやX線の画像の1,2時間前の履歴を追加した。我々はデータベースを時系列で分割し、2010-2014年を訓練用、2015年をテスト用とした。それらに対してDeFNモデルを使い、Mクラス以上、Cクラス以上のフレアの発生確率を予測した。このモデルはディープな多層ニューラルネットで構成され、skip connectionとbatch normalizationを使用している。スキルスコア(TSS)を最大化するように訓練最適化され、最終的に我々は運用形式で、Mクラス以上のフレアに対してTSS=0.80、Cクラス以上のフレアに対してTSS=0.63を達成することに成功した。これらの値は人手による運用よりも良い。ちなみに、一般的な深層学習モデルは予測過程がブラックボックスであるが、本DeFNモデルの場合は人が手で特徴量を与えているため、どの特徴量が予測に効果的であるかを解析することができる。

本講演では、我々の開発したDeFNモデルの内容と、リアルタイム予報運用に向けての取り組みを紹介したい。また、抽出された特徴量を比較することで、太陽フレアのトリガー機構について議論したい。

キーワード：太陽フレア、予測、宇宙天気、深層学習、X線放射、リアルタイム運用

Keywords: solar flare, prediction, space weather, deep learning, X-ray emission, real-time operation